

電子計算機による地震時緩傾斜干拓堤防の安定解析について

国 武 昌 人

(農業造構学研究室)

On the Stability Analysis of a Sea Dike with a Gentle Grade
during Earthquake by an Electronic Digital Computer

Masato KUNITAKE

Faculty of Agriculture, Saga University

Abstract: The stability analysis of a sea dike with a gentle grade during earthquake was studied in this paper.

The dynamical properties of earth structure during earthquake is hardly known. Then, assuming the fundamental properties of soils during earthquake were the same ones when there was no earthquake, the fundamental equations on the stability analysis of slope during earthquake were derived statically from the dangerous circle analysis and the seismic coefficient method. They are shown in eqs. (10), (19) and (20). The equations which was perfectly generalized are eq. (25) to eq. (37).

In this equations, all values of cohesion, friction angle and unit weight for both soil strata can be distinguished respectively. A water table can be placed anywhere.

Given these properties of soils and a sea dike, the electronic digital computer can automatically search out the critical circle during earthquake and print out the information for it in several minutes.

The sea dike which was analyzed as an example and the system used in this program were illustrated in Fig. 9. The form of results produced by the computer was shown in Fig. 10.

This method can be applied to similar problems immediately.

摘 要

本論文において、電子計算機による地震時の緩傾斜干拓堤防の安定解析の研究を行なった。

構造物の地震時の動的性質があまりよくわかっていないので地震時の土の基本的性質は常時のそれと同じであると仮定し、地震時の斜面の安定解析に関する基本方程式を、円弧スベリ面法と震度法から静的に誘導した。それらは (10)、(19) と (20) 式である。完全に一般化された式は (25) から (37) 式である。

この式において、二つの土の層の粘着力、内部摩擦角、単位体積重量はそれぞれ区別されている。また水面はどのようなところにあってもよい。

土の性質と干拓堤防の形状が与えられれば電子計算機は、自動的に、数分で、地震時の臨界円を見出しそれを印刷する。

Fig. 9 に例題として解析された干拓堤防とこのプログラムに用いられた方法を、Fig. 10 に電子計算機によって解析された結果を示した。

この方法は類似の問題にすぐに応用できる。

I. ま え が き

地震時の斜面の安定を論ずる場合、振動時における土の基礎的性質、すなわち振動時における土の内部摩擦角、粘着力、密度、間ゲキ水圧、粒子構造などが土の力学的性質にどのように影響するかを知らなければならない。しかしながら土構造物の地震時の性質に関する知識は現在きわめて少い。また設計にあたってもお未詳の要素が多く、現在では静力学的ないわゆる震度法が多く慣用されている。

そこで、地震時の斜面の安定解析の基本方程式を導くにあたって、円弧スベリ面法により、地震時の土の基礎的性質は常時のそれと同じであると仮定し、震時法に従って誘導することにした。

この研究を行なうにあたり、終始御指導と御鞭撻を賜った佐賀大学教授田中宏平博士に厚く御礼申し上げます。また留学中多大の御指導と御援助を賜った九州大学教授藤川武信博士に厚く御礼申し上げます。

II. 震 度 法¹⁻³⁾

震度論にしたがえば震度 K は地震の最大加速度 α と重力の加速度 g との比によって表わされる。すなわち

$$\text{水平方向} \quad K_h = \frac{\alpha_h(\text{gal})}{g(\text{gal})} \approx \frac{\alpha_h}{1000} \quad (1)$$

$$\text{鉛直方向} \quad K_v = \frac{\alpha_v(\text{gal})}{g(\text{gal})} \approx \frac{\alpha_v}{1000} \quad (2)$$

ここに、 K_h ：水平震度

K_v ：鉛直震度

α_h ：水平方向の地震の最大加速度

α_v ：鉛直方向の地震の最大加速度

そして、構造物の重量 W に (1), (2) で定義された震度 K_h, K_v を乗じた $W \cdot K_h, W \cdot K_v$ をその重心点に作用させて静力学的に計算する方式である。(Fig. 1 参照)

(1) 式を考慮して

$$W \cdot K_h = W \cdot \frac{\alpha_h}{g} = M \cdot \alpha_h \quad (3)$$

ここに、

$$M = \frac{W}{g}$$

この $M \cdot \alpha_h$ は構造物の質量と地震加速度の積であるので、静的に考えた地震力に相当する。

Fig. 1 から地震時の合力 R は

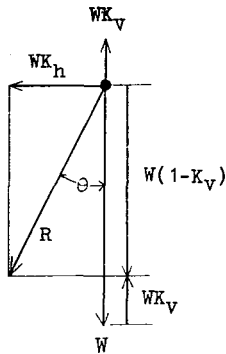


Fig. 1 震度法の考え方

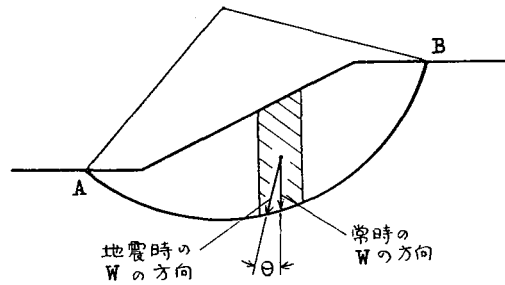


Fig. 2 円弧スベリ面法

$$R = \sqrt{(1 \pm K_v)^2 + K_h^2} \cdot W \quad (4)$$

となり、その方向は常時鉛直線に対して角 θ だけ傾く。すなわち

$$\theta = \arctan \frac{K_h}{1 \pm K_v} = \arctan K. \quad (5)$$

(5)式における K を合震度と呼んでいる。そして多くの場合分母の負号をとる。 $K_h < 0.3$, $K_v < 0.1$ 程度であれば(4)式から $R \div W$ となり、物体の重量は実質上ほとんど変化しないものと考えることができる。

いま円弧スベリ面法にこの方法を適用すれば Fig. 2 に示すようにその小割要素の自重 W は常に鉛直方向に働くが、地震時には図中に示すように鉛直線に対して θ だけ危険側に傾斜すると考えることができる。

III. 基本式の誘導^{4~9)}

基本式を誘導するにあたって次のような仮定をした。

- i) 土の自重 W は常時は鉛直方向に働くが、地震時には鉛直線に対して θ だけ危険側に傾斜すると考える。
- ii) 引張りひびわれの影響は無視する。
- iii) Soil I と Soil II の二層からなる。
- iv) 破壊面は円弧面である。
- v) 安全率は抵抗モーメントと転倒モーメントの比で表わす。
- vi) 抵抗モーメントは土のせん断強さのみによる。
- vii) 転倒モーメントは土の重量による。
- viii) 土のせん断強さは次式で表わす。

$$\text{Soil I} \quad \tau_1 = c_1 + (\sigma - u) \tan \phi_1 \quad (6)$$

$$\text{Soil II} \quad \tau_2 = c_2 + (\sigma - u) \tan \phi_2 \quad (7)$$

ここに、 c_1, c_2 : 粘着力 σ : 垂直応力
 u : 間ゲキ水圧 ϕ_1, ϕ_2 : 内部摩擦角

ix) 浸潤線は Soil I の層にあるものとし、近似的に折れ線で表現する。

そこで、Fig. 3 のように、鉛直線に対して θ だけ危険側に傾斜した作用線に平行な直線で分割した小割要素を考える。この小割要素について抵抗モーメント、転倒モーメントを考え、積分区間 (A, E) で積分し、その比をとれば安全率を求めることができる。その場合、抵抗モーメント、転倒モーメントは破壊円の中心点に関するモーメントであるから、Fig. 3 のように、水平方向、鉛直方向からそれぞれ θ だけ回転した座標 (x, y) について考えてもよい。

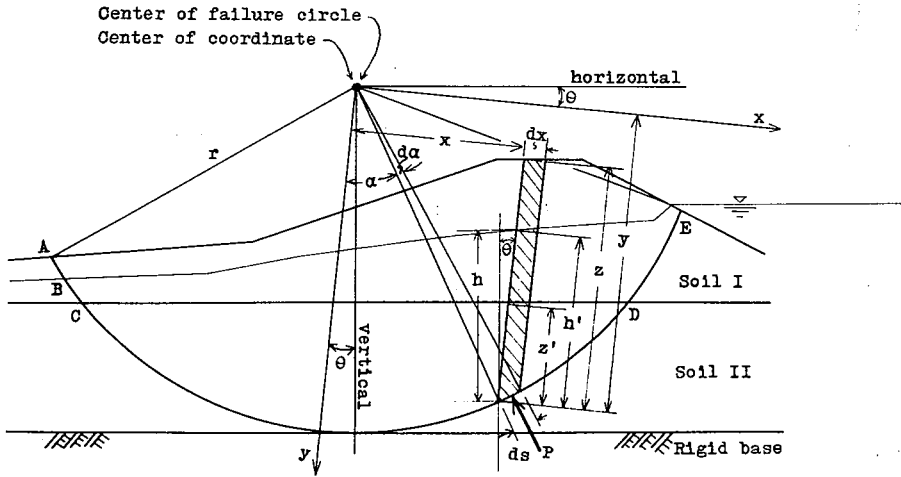


Fig. 3 基本式誘導図

抵抗モーメントを M_R 、転倒モーメントを M_0 、安全率を FS とする。

$$M_R = \int_A^C r \tau_1 ds + \int_C^D r \tau_2 ds + \int_D^E r \tau_1 ds \quad (8)$$

$$M_0 = \int_A^C \gamma_1 z x dx + \int_C^D \{ \gamma_1 (z - z') + \gamma_2 z' \} x dx + \int_D^E \gamma_1 z x dx \quad (9)$$

ここに、 γ_1, γ_2 : それぞれ Soil I, Soil II の単位
体積重量

$$FS = \frac{M_R}{M_0} \quad (10)$$

しかるに、

$$\begin{aligned} \int r \tau_1 ds &= \int r^2 \tau_1 d\alpha = \int r^2 \{ c_1 + (\sigma - u) \tan \phi_1 \} d\alpha \\ &= \int r^2 c_1 d\alpha + \int r^2 \sigma \tan \phi_1 d\alpha - \int r^2 u \tan \phi_1 d\alpha \end{aligned}$$

$$\sigma ds = \gamma_1 z dx \cos \alpha = \gamma_1 z ds \cos^2 \alpha \quad \text{故に} \quad \sigma = \gamma_1 z \cos^2 \alpha$$

であるから

$$= \int r^2 c_1 d\alpha + \int r^2 (\gamma_1 z \cos^2 \alpha) \tan \phi_1 d\alpha - \int r^2 u \tan \phi_1 d\alpha$$

また $dx = ds \cos \alpha = r d\alpha \cos \alpha$, $y = r \cos \alpha$

故に $d\alpha = dx/y$ であるから

$$= r^2 c_1 \int \frac{dx}{y} + r_1 \tan \phi_1 \int y z dx - r^2 \tan \phi_1 \int \frac{u}{y} dx \quad (11)$$

同様に

$$\begin{aligned} \int r \tau_2 ds &= \int r^2 \tau_2 d\alpha = \int r^2 \{c_2 + (\sigma - u) \tan \phi_2\} d\alpha \\ &= \int r^2 c_2 d\alpha + \int r^2 \sigma \tan \phi_2 d\alpha - \int r^2 u \tan \phi_2 d\alpha \\ &= \int r^2 c_2 d\alpha + \int r^2 [\{r_1(z - z') + r_2 z'\} \cos \alpha] \tan \phi_2 d\alpha \\ &\quad - \int r^2 u \tan \phi_2 d\alpha \\ &= \int r^2 c_2 d\alpha + \int r^2 r_1 z \cos^2 \alpha \tan \phi_2 d\alpha \\ &\quad - \int r^2 (r_1 - r_2) z' \cos^2 \alpha \tan \phi_2 d\alpha - \int r^2 u \tan \phi_2 d\alpha \\ &= r^2 c_2 \int \frac{dx}{y} + r_1 \tan \phi_2 \int y z dx - (r_1 - r_2) \tan \phi_2 \int y z' dx \\ &\quad - r^2 \tan \phi_2 \int \frac{u}{y} dx \end{aligned} \quad (12)$$

また

$$\int r_1 z x dx = r_1 \int z x dx \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \int \{r_1(z - z') + r_2 z'\} x dx &= \int \{r_1 z - (r_1 - r_2) z'\} x dx \\ &= r_1 \int z x dx - (r_1 - r_2) \int z' x dx \end{aligned} \quad (14)$$

間ゲキ水圧 u は

$$u = h \cdot r_w \quad (15)$$

ここに, h : Fig. 3 における h

r_w : 水の単位体積重量

しかるに, $K_v < 0.1$, $K_h < 0.3$ であり, 浸潤線の勾配が緩ければ,

$$h \doteq h' \cos \theta \quad (h': \text{Fig. 3 における } h') \quad (16)$$

といえる. そこで(15)式は

$$u = r_w \cdot h' \cos \theta \quad (17)$$

となる。

また、転倒モーメントに対する浮力効果は Fig. 4 の方法で計算する。

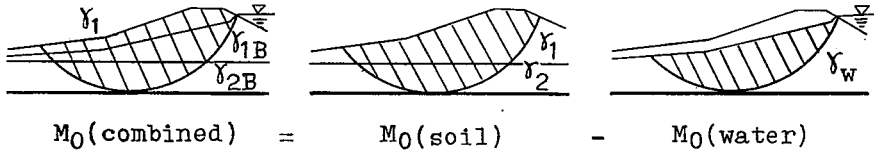


Fig. 4 浮力効果

従って(11), (12), (13), (14), (17), (18), を(8), (9)に代入すると

$$\begin{aligned}
 M_R = & r^2 c_1 \int_A^C \frac{dx}{y} + r_1 \tan \phi_1 \int_A^C yz dx - \gamma_w \cos \theta r^2 \tan \phi_1 \int_B^C \frac{h'}{y} dx \\
 & + r^2 c_2 \int_C^D \frac{dx}{y} + r_1 \tan \phi_2 \int_C^D yz dx - (\gamma_1 - \gamma_2) \tan \phi_2 \int_C^D yz' dx \\
 & - \gamma_w \cos \theta r^2 \tan \phi_2 \int_C^D \frac{h'}{y} dx + r^2 c_1 \int_D^E \frac{dx}{y} + r_1 \tan \phi_1 \int_D^E yz dx \\
 & - \gamma_w \cos \theta r^2 \tan \phi_1 \int_D^E \frac{h'}{y} dx
 \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned}
 M_0 = & \gamma_1 \int_A^C zx dx - \gamma_w \cos \theta \int_B^C h' x dx + r_1 \int_C^D zx dx \\
 & - (\gamma_1 - \gamma_2) \int_C^D z' x dx - \gamma_w \cos \theta \int_C^D h' x dx \\
 & + r_1 \int_D^E zx dx - \gamma_w \cos \theta \int_D^E h' x dx \\
 = & r_1 \int_A^E zx dx - (\gamma_1 - \gamma_2) \int_C^D z' x dx - \gamma_w \cos \theta \int_B^E h' x dx
 \end{aligned} \quad (20)$$

次に(19), (20)式を電子計算機で計算するために、例えば、Fig. 5 のようにいくつかのセクションにわち、それぞれのセクションについて計算し和をとることとする。

そこで、一セクションの抵抗モーメントを M_R' 、転倒モーメントを M_0' とし、Fig. 3 における諸関係

$$y = \sqrt{r^2 - x^2} \quad (21)$$

$$z = \sqrt{r^2 - x^2} - m_{zi} \cdot x + (m_{zi} x_i - y_{zi}) \quad (22)$$

$$z' = \sqrt{r^2 - x^2} - m_{z'i} x + (m_{z'i} x_i - y_{z'i}) \quad (23)$$

$$h' = \sqrt{r^2 - x^2} - m_{h'i} x + (m_{h'i} x_i - y_{h'i}) \quad (24)$$

を用いて、積分区間 (x_i, y_i) で定積分を行ない、整理すると次のようになる。

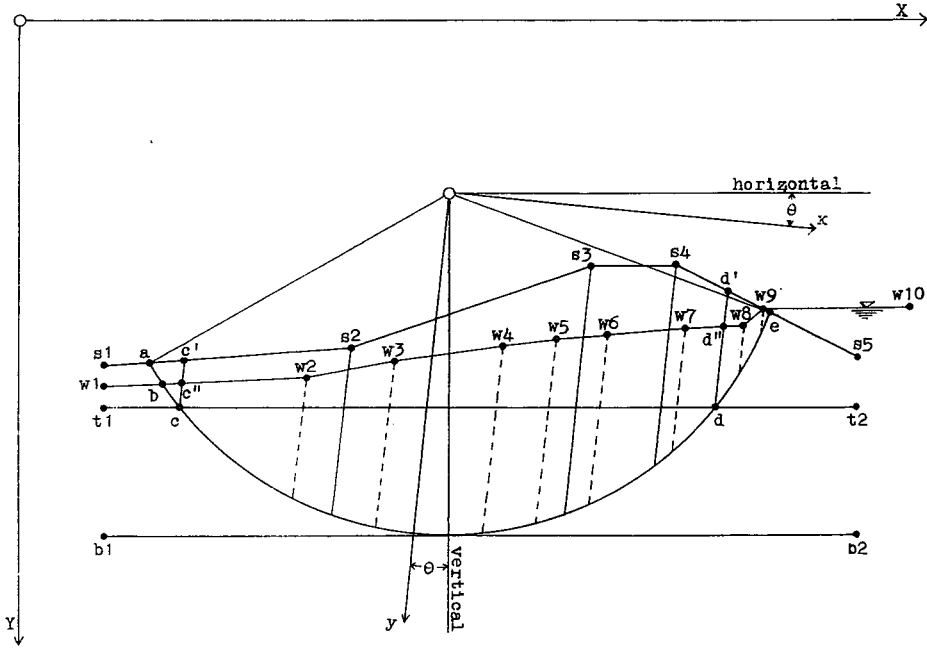


Fig. 5 計算方法説明図

$$M_R' = M_{R1}' - M_{R2}' - M_{R3}' \quad (25)$$

$$\begin{aligned} M_{R1}' &= r^2 c \int_{x_i}^{x_j} \frac{dx}{y} + r_1 \tan \phi \int_{x_i}^{x_j} yz dx \\ &= r^2 c A_1(x) + r_1 \tan \phi \left\{ r^2 (x_j - x_i) - \frac{1}{3} (x_j^3 - x_i^3) + \frac{m_{zi}}{3} A_3(x) \right. \\ &\quad \left. + \frac{m_{zi} x_i - y_{zi}}{2} (A_2(x) + r^2 A_1(x)) \right\} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} M_{R2}' &= (r_1 - r_2) \tan \phi_2 \int_{x_i}^{x_j} yz' dx \\ &= (r_1 - r_2) \tan \phi_2 \left\{ r^2 (x_j - x_i) - \frac{1}{3} (x_j^3 - x_i^3) + \frac{m_{z'i}}{3} A_3(x) \right. \\ &\quad \left. + \frac{m_{z'i} x_i - y_{z'i}}{2} (A_2(x) + r^2 A_1(x)) \right\} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} M_{R3}' &= r_w \cos \theta r^2 \tan \phi \int_{x_i}^{x_j} \frac{h'}{y} dx \\ &= r_w \cos \theta r^2 \tan \phi \{ (x_j - x_i) + m_{h'i} A_4(x) \\ &\quad + (m_{h'i} x_i - y_{h'i}) A_1(x) \} \end{aligned} \quad (28)$$

$$M'_0 = M'_{01} - M'_{02} - M'_{03} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} M'_{01} &= \gamma_1 \int_{xi}^{xj} z x dx \\ &= \gamma_1 \left\{ -\frac{1}{3} A_3(x) - \frac{m_{zi}}{3} (x_j^3 - x_i^3) \right. \\ &\quad \left. + \frac{m_{zi}x_i - y_{zi}}{2} (x_j^2 - x_i^2) \right\} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} M'_{02} &= (\gamma_1 - \gamma_2) \int_{xi}^{xj} z' x dx \\ &= (\gamma_1 - \gamma_2) \left\{ -\frac{1}{3} A_3(x) - \frac{m_{z'i}}{3} (x_j^3 - x_i^3) \right. \\ &\quad \left. + \frac{m_{z'i}x_i - y_{z'i}}{2} (x_j^2 - x_i^2) \right\} \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} M'_{03} &= \gamma_w \cos \theta \int_{xi}^{xj} h' x dx \\ &= \gamma_w \cos \theta \left\{ -\frac{1}{3} A_3(x) - \frac{m_{h'i}}{3} (x_j^3 - x_i^3) \right. \\ &\quad \left. + \frac{m_{h'i}x_i - y_{h'i}}{2} (x_j^2 - x_i^2) \right\} \end{aligned} \quad (32)$$

ここに,

$$A_1(x) = \arcsin \frac{x_i}{r} - \arcsin \frac{x_j}{r} \quad (33)$$

$$A_2(x) = x_j(r^2 - x_j^2)^{1/2} - x_i(r^2 - x_i^2)^{1/2} \quad (34)$$

$$A_3(x) = (r^2 - x_j^2)^{3/2} - (r^2 - x_i^2)^{3/2} \quad (35)$$

$$A_4(x) = (r^2 - x_j^2)^{1/2} - (r^2 - x_i^2)^{1/2} \quad (36)$$

ただし, (26), (28)において, c, ϕ と表現してあるのは, そのセクションの弧が通る層での c, ϕ の値を使って計算するという意味である.

(25), (29)において M_{R1}', M_{01}' はそれぞれ, $\gamma_1 = \gamma_2$ と仮定された場合の抵抗モーメント, 転倒モーメントである. そこで, M_{R2}', M_{02}' でその補正を行なっている. また M_{R3}', M_{03}' は間ゲキ水圧の項である.

したがって, 安全率 FS は

$$FS = \frac{\sum_a^e M_R'}{\sum_a^e M_0'} = \frac{\sum_a^e M_{R1}' - \sum_c^d M_{R2}' - \sum_b^e M_{R3}'}{\sum_a^e M_{01}' - \sum_c^d M_{02}' - \sum_b^e M_{03}'} \quad (37)$$

となる。

IV. 計 算 方 法

種々の必要なデータと出発点が与えられたら、第1計算機は自動的に臨界円を見出して、与えられたデータと共に臨界円の位置、その半径、抵抗モーメント、転倒モーメントおよび最小安全率を印刷して停止するようにしたい。

そこで、Fig. 6 のような図型を考える。このような図型において、与えられた出発点を P_0 とする。

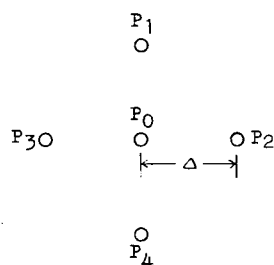


Fig. 6 図 型

- i) P_0 の安全率を計算する。
- ii) Δ だけ離れた P_1, P_2, P_3, P_4 の安全率を計算する。

iii) この5点の安全率を比較して P_0 が最小であれば、 P_0 の附近に臨界円があることがわかる。

iv) もし5点の安全率を比較して、 P_0 以外の点、例えば P_3 が最小であったならば、 P_3 を中心点 P_0 とする図型を考えて計算を行う。

v) このようにして計算していくと iii) のように、 P_0 のまわりがすべて大きな安全率をもつ点になる。そこで、精度をあげるために Δ を小さくして同じような図型を考えて計算する。

vi) このようにして得られた最小安全率をもつ破壊円を臨界円とする。

このような考えで計算の順序を整理すると Fig. 7 のようになる。

(B1) 1. 土の性質としては、Soil I, Soil II についてそれぞれ粘着力、内部摩擦角のタンジェントおよび単位体積重量を与える。

Table 1 土 の 性 質

	c	$\tan\phi$	γ
Soil I	c_1	$\tan\phi_1$	γ_1
Soil II	c_2	$\tan\phi_2$	γ_2

2. 水平震度と鉛直震度とを与えることにした。そしてこのプログラムにおいては(5)式の分母が負号をとる場合についてのみ考え、 $K_h < 0.3$, $K_v < 0.1$ 程度では $R \approx W$ と仮定している。普通には、鉛直震度を0とし、水平震度のみを考えて解析している例が多いので、この場合にも水平震度を与え、そして鉛直震度は0として与えて解析して充分だと思われる。

3. 表面、水面、層境界線、基盤の座標としては、例えば、Fig. 5 の大きい座標 (X, Y) において、それぞれの変化点についての座標を与える。

4. 破壊円の中心の移動する間隔として、粗い間隔 Δ_1 と細かい間隔 Δ_2 を与える。
 $\Delta_2 = (1/3 \sim 1/4) \Delta_1$ ぐらいがよいようだ。

5. 半径のきざみ STP は最大半径から最小半径までの間でいくつかの半径を与えるために考えたものである。例えば、最大半径が 40^m で最小半径が 20^m である場合に $40^m, 38^m, 36^m, 34^m, \dots, 22^m$ と破壊円を仮定して計算したい時には $STP = 2^m$ とすればよい。STP は最大半径から最小半径までの間を5~10に分割する程度に与えればよい。

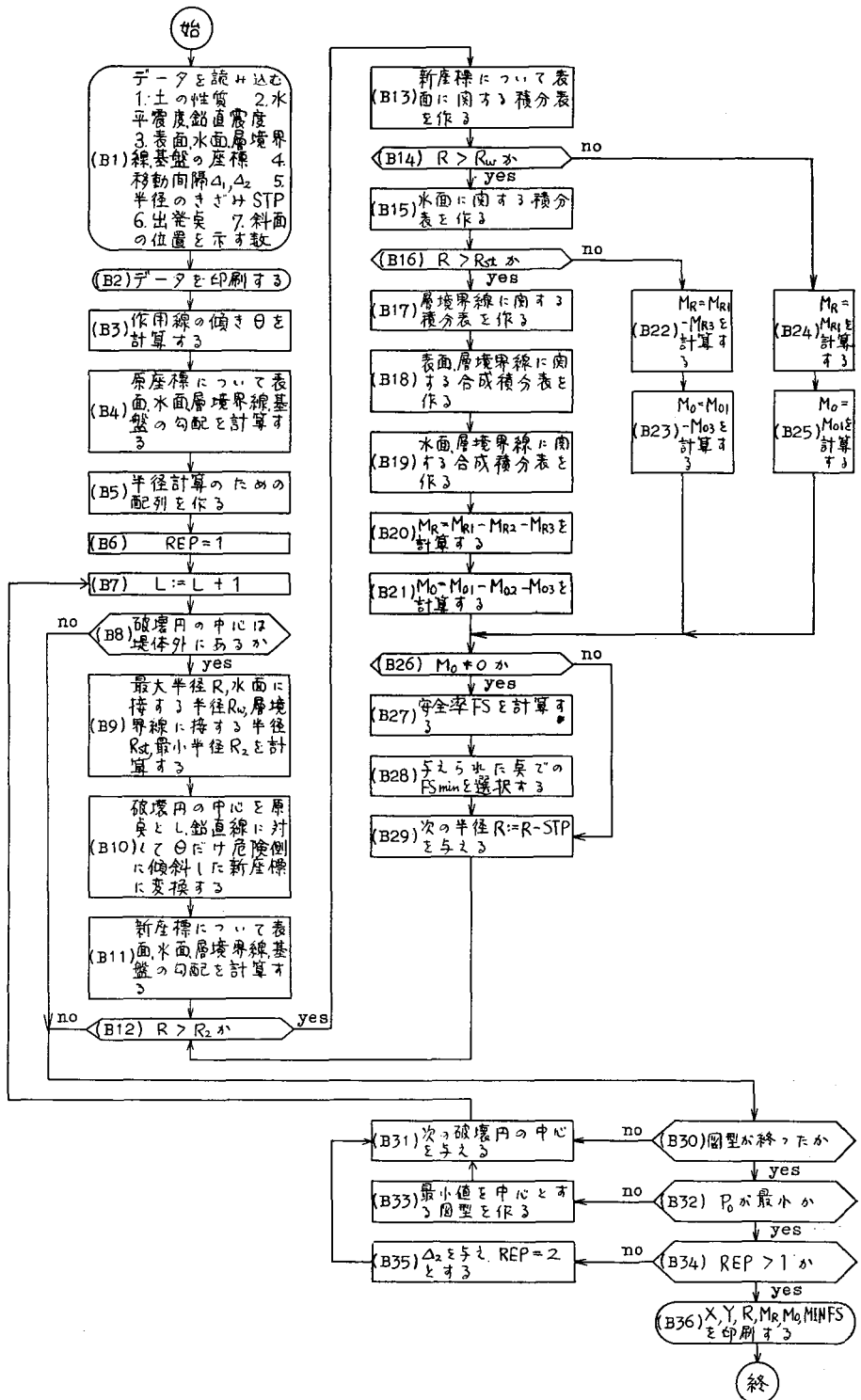


Fig. 7 フローチャート

Table 2 各変化点の座標

表 面	水 面	層 境 界 線	基 盤
X_{s1}, Y_{s1}	X_{w1}, Y_{w1}	X_{t1}, Y_{t1}	X_{b1}, Y_{b1}
X_{s2}, Y_{s2}	X_{w2}, Y_{w2}	X_{t2}, Y_{t2}	X_{b2}, Y_{b2}
X_{s3}, Y_{s3}	X_{w3}, Y_{w3}		
X_{s4}, Y_{s4}	X_{w4}, Y_{w4}		
X_{s5}, Y_{s5}	X_{w5}, Y_{w5}		
	X_{w6}, Y_{w6}		
	X_{w7}, Y_{w7}		
	X_{w8}, Y_{w8}		
	X_{w9}, Y_{w9}		
	X_{w5}, Y_{w5}		

6. 出発点としては、臨界円の中心点を予想して大きい座標 (X, Y) で (X_0, Y_0) の如く与える。この値が適切であれば計算時間が少なくてすむ。

7. Fig. 5 において、左側の斜面を解析する場合には 1 とし、右側の斜面を解析する場合には 2 とする。それは Fig. 2 における小割要素の自重 W が常時は鉛直方向に働くが、地震時には鉛直線に対して θ だけ危険側に傾斜すると仮定したために、斜面が左側にあるか、右側にあるか、によって θ だけ傾斜させる方向が異なるからである。

(B2) (B1) で与えられたデータを印刷する。

(B3) (5) 式によって計算する。ただし分母は負号をとる場合だけを考えた。

(B4) 表面、水面、層境界線、基盤の勾配を計算する。その一般式は次のとおりである。

$$m_i = \frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i} \quad (38)$$

(B5) 半径については、基盤に接する半径を最大半径、表面に接する半径を最小半径とし、最大半径から順次ある長さ STP を減じて最小半径まで変化させることにした。半径を計算する一般式は次のとおりである。

$$r = \frac{(Y_i - Y_0) - m_i(X_i - X_0)}{\sqrt{1 + m_i^2}} \quad (39)$$

しかし、Fig. 8 の O_3 のような場合には (39) 式では計算できない。次の式によらなければならない。

$$r = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2} \quad (40)$$

そこで、あらかじめ $S1-S1'$, $S2-S2'$, $S3-S3'$, $S3-S3''$, … を用いて領域をわかし、その領域に応じた式を選ばせるようにした。その場合の判別式は、 $S1-S1'$, $S2-S2'$, … の勾配を m_i' とすると次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} m_i'(Y_0 - Y_i) + (X_0 - X_i) &\geq 0 \\ m_j'(Y_0 - Y_j) + (Y_0 - Y_j) &< 0 \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

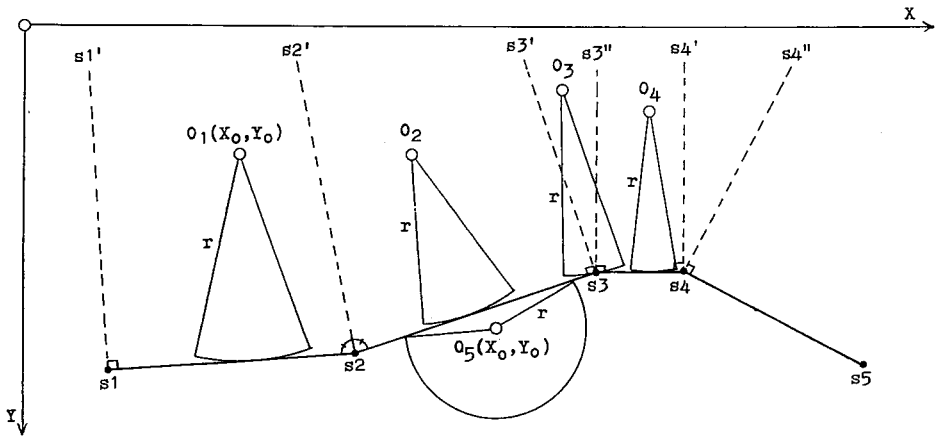


Fig. 8 半径の計算

(B6) $REP=1$ は中心点の移動間隔 Δ_1, Δ_2 による図型をそれぞれ区別するために工夫したものである。 $REP=1$ のときは Δ_1 の図型であり、 $REP=2$ のときは Δ_2 の図型である。

(B7) (B30), (B31) で述べる図型においては、 P_0 は既知で P_1, P_2, P_3, P_4 は未知と仮定している。ところが最初の図型では P_0 も未知であるため、その P_0 を計算するために工夫したものである。 $L=1$ のときは、 P_0 が未知であるとして、 $L \neq 1$ のときは P_0 が既知であるとして計算を進めるようにした。

(B8) 破壊円の中心が Fig. 8 の O_5 のように堤体の中に入っては意味がないので、その場合は次の破壊円の中心点に移るようにした。その場合の判別式は次のとおりである。

$$m_i(X_0 - X_i) + (Y_i - Y_0) > 0 \quad (42)$$

この式が満足されるときは破壊円の中心は堤体外にある。

(B9) (39) または (40) 式によってそれぞれの半径を計算する。

(B10) ここで、原座標 (X, Y) で表現されている各変化点を、破壊円の中心を原点とし、水平線、鉛直線に対して θ だけ危険側に傾斜した新座標 (x, y) に変換する。その変換の式は次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} x_i &= (X_i - X_0)\cos\theta + (Y_i - Y_0)\sin\theta \\ y_i &= -(X_i - X_0)\sin\theta + (Y_i - Y_0)\cos\theta \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

ここに、 X_0, Y_0 : 破壊円の中心の座標

ここで、 θ は (5) 式によって計算される θ である。したがって、斜面が原座標において左側にある場合には θ のかわりに $-\theta$ を入れてやらなければならない。そこで、このプログラムにおいては、(B1)7 で読み込んだ、いわゆる斜面の位置を示す数によって switch を使ってその斜面の方向を区別するようにした。

(B11) 新座標は原座標と比べて x 軸、 y 軸がそれぞれ θ だけ傾いているので、表面、水面、層境界線、基盤の勾配は (B4) で計算した値と異なる。そこで、新座標におけるそれらの勾配の計算をここで行なう。

(B12) $R > R_2$ でなければその破壊円は堤体と交わらないので次の中心点に進む。

(B13) 破壊円と表面との交点を計算し Table 3 のような積分表をつくる。

Table 3 表面に関する積分表

x	y	m
x_a	y_a	m_a
x_{s2}	y_{s2}	m_{s2}
x_{s3}	y_{s3}	m_{s3}
x_{s4}	y_{s4}	m_{s4}
x_e	y_e	

補正項を計算しなくてよい。したがって (B22) に進む。

Table 4 水面に関する積分表

x	y	m
x_b	y_b	m_b
x_{w2}	y_{w2}	m_{w2}
x_{w3}	y_{w3}	m_{w3}
x_{w4}	y_{w4}	m_{w4}
x_{w5}	y_{w5}	m_{w5}
x_{w6}	y_{w6}	m_{w6}
x_{w7}	y_{w7}	m_{w7}
x_{w8}	y_{w8}	m_{w8}
x_{w9}	y_{w9}	m_{w9}
x_e	y_e	

(B17) 破壊円と層境界線との交点の計算し、Table 5 のような積分表をつくる。

Table 5 層境界線に関する積分表

x	y	m
x_c	y_c	m_c
x_d	y_d	

(B18) Table 3 と Table 5 を合成した Table 6 のような積分表をつくる。

Table 6 表面層境界線に関する積分表

x	y	m
x_a	y_a	m_a
$x_{c'}$	$y_{c'}$	$m_{c'}$
x_{s2}	y_{s2}	m_{s2}
x_{s3}	y_{s3}	m_{s3}
x_{s4}	y_{s4}	m_{s4}
$x_{d'}$	$y_{d'}$	$m_{d'}$
x_e	y_e	

(B19) Table 4 と Table 5 を合成した Table 7 のような積分表をつくる。

(B14) $R > R_w$ でなければ、その破壊円は浸潤線より上にある、Soil I だけしか通らないから γ の差違による補正項も間ゲキ水圧の項も計算しなくてよい。したがって (B24) に進む。

(B15) 破壊円と水面との交点を計算し Table 4 のような積分表をつくる。

(B16) $R > R_{st}$ でなければ、その破壊円は Soil I だけしか通らないから γ の差違による

Table 7 水面層境界線に関する積分表

x	y	m
x_b	y_b	m_b
$x_{c''}$	$y_{c''}$	$m_{c''}$
x_{w2}	y_{w2}	m_{w2}
x_{w3}	y_{w3}	m_{w3}
x_{w4}	y_{w4}	m_{w4}
x_{w5}	y_{w5}	m_{w5}
x_{w6}	y_{w6}	m_{w6}
x_{w7}	y_{w7}	m_{w7}
$x_{d''}$	$y_{d''}$	$m_{d''}$
x_{w8}	y_{w8}	m_{w8}
x_{w9}	y_{w9}	m_{w9}
x_e	y_e	

(B20) Table 6 によって M_{R1} を、Table 5 によって M_{R2} を、Table 7 によって M_{R3} を計算し、 $M_R = M_{R1} - M_{R2} - M_{R3}$ を計算する。

(B21) Table 3 によって M_{01} を、Table 5 によって M_{02} を、Table 4 によって M_{03} を計算し、 $M_0 = M_{01} - M_{02} - M_{03}$ を計算する。

(B22) Table 3 によって M_{R1} を、Table 4 によって M_{R3} を計算し、 $M_R = M_{R1} - M_{R3}$ を計算する。

(B23) Table 3 によって M_{01} を、Table 4 によって M_{03} を計算し、 $M_0 = M_{01} - M_{03}$ を計算する。

(B24) Table 3 によって $M_R = M_{R1}$ を計算する。

(B25) Table 3 によって $M_0 = M_{01}$ を計算する。

(B26) $M_0 = 0$ であったら FS 計算できないから (B29) に進む。 $M_0 = 0$ ということはその破壊円に関しては安全だということである。

(B27) 安全率 $FS = M_R/M_0$ を計算する.

(B28) 一つの中心点について, いくつかの異なった半径の破壊円を仮定して計算し, その中の最小の安全率をその点の安全率とするので, ここでそれらの中の最小値を選択する. 最初の破壊円についてはその安全率を記憶し, 次の破壊円からは記憶されている最小値と比較してその破壊円の安全率が小さければ小さい方を記憶する.

(B29) 計算が終った半径からきざみ STP を差引いて, 次の半径とし (B12) にもどらせる.

(B12) から (B29) まだが一つのループになって半径を 1 きざみ小さくしては安全率を計算し, また半径を 1 きざみ小さくしては安全率を計算するということを繰り返すわけである. そしてその半径が堤体と交わらなくなったら (B30) に進む.

(B30) Fig. 6 の P_0 および P_1, P_2, P_3, P_4 の安全率が計算されたら (B32) に進み, そうでなかったら (B31) に進む.

(B31) 次の破壊円の中心を与える. その順序は P_1, P_2, P_3, P_4 である. そして (B7) に進んで安全率計算のループに入る.

(B32) Fig. 6 において, P_0 が最小であれば, (B34) に進み, そうでなければ (B33) に進む.

(B33) $P_1 \sim P_4$ のうちの最小値を中心とする図型をつくって (B31) に進む.

(B34) $REP = 1$ であれば Δ_1 の図型であるから (B35) に進み, $REP = 2$ であれば Δ_2 の図型であるから (B36) に進む.

(B35) Δ_1 を Δ_2 にかえて, $REP = 2$ とする. そして (B31) に進む.

(B36) 臨界円がわかったから, その位置を示す座標 X, Y , 半径 R , 抵抗モーメント M_R , 転倒モーメント M_0 ならびに最小安全率 FS を印刷して計算機は停止する.

V. プ ロ グ ラ ム^{10~12)}

まずこのプログラムに使用した記号について簡単に説明する.

SN=表面の変化点の個数

WN=水面の変化点の個数

STN=層境界線の変化点の個数

BN=基盤の変化点の個数

RSN=表面に接する半径を計算するための配列における変化点の個数

RWN=水面に接する半径を計算するための配列における変化点の個数

RSTN=層境界線に接する半径を計算するための配列における変化点の個数

RBN=基盤に接する半径を計算するための配列における変化点の個数

ISN=表面に関する積分表の変化点の個数

IWN=水面に関する積分表の変化点の個数

ISTN=層境界線に関する積分表の変化点の個数

IN = 表面層境界線に関する積分表の変化点の個数または水面層境界線に関する積分表の変化点の個数

REP = Fig. 6 の移動間隔 Δ_1 と Δ_2 を区別する指標

L = Fig. 6 の P_0 が未知であるか既知であるかを判別する指標

K = Fig. 6 $P_0 \sim P_4$ の安全率のうち最小の安全率を見出すための補助指標

EQS = 左側の斜面であるか右側の斜面であるかを区別するための指標

CÔHES = Soil I の粘着力

- TANPHI =Soil I の内部摩擦角のタンジェント
 GAMMA =Soil I の単位体積重量
 CÔHES2 =Soil II の粘着力
 TANPH2 =Soil II の内部摩擦角のタンジェント
 GAMMA2=Soil II の単位体積重量
 GAMMAW=水の単位体積重量
 KH =水平震度
 KV =鉛直震度
 THETA =(5)式の θ
 ΔELTA1=IV. (B1)4. に説明されている Δ_1
 ΔELTA2=IV. (B1)4. に説明されている Δ_2
 X \bar{O} =座標 (X, Y) で示される破壊円の中心の X 座標
 Y \bar{O} =座標 (X, Y) で示される破壊円の中心の Y 座標
 STP =IV. (B1).5 で説明されているきざみ
 CÔN =(42)式の左辺の計算値
 HFPI = $\pi/2$
 R2 =表面に接する半径即ち最小半径
 RW =水面に接する半径
 RST =層境界線に接する半径
 R =基盤に接する半径即ち最大半径ならびに破壊円の半径
 MR =抗抵モーメント
 M \bar{O} =転倒モーメント
 FS =安全率
 RMIN =IV. (B28) に説明されている, 一つの中心点に関する最小安全率の円弧の半径
 MRMIN =IV (B28) に説明されている, 一つの中心点に関する最小安全率の円弧の抵抗モーメント
 M \bar{O} MIN =IV. (B28) に説明されている, 一つの中心点に関する最小安全率の円弧の転倒モーメント
 FSMIN =IV (B28) に説明されている, 一つの中心点に関する最小安全率
 MINX \bar{O} =臨界円の X 座標
 MINY \bar{O} =臨界円の Y 座標
 MINR =臨界円の半径
 MINMR =臨界円の抵抗モーメント
 MINM \bar{O} =臨界円の転倒モーメント
 MINFS =臨界円の安全率
 SURX [1:16]=座標 (X, Y) で表現される表面の各変化点の X 座標
 SURY [1:16]=座標 (X, Y) で表現される表面の各変化点の Y 座標
 SURM [1:16]=座標 (X, Y) で表現される表面の各変化点間の勾配
 WATX [1:11]=座標 (X, Y) で表現される水面の各変化点の X 座標
 WATY [1:11]=座標 (X, Y) で表現される水面の各変化点の Y 座標
 WATM [1:11]=座標 (X, Y) で表現される水面の各変化点間の勾配
 STRX [1: 2]=座標 (X, Y) で表現される層境界線の各変化点の X 座標

STRY	[1: 2]=座標 (X, Y) で表現される層境界線の各変化点の Y 座標
STRM	[1: 2]=座標 (X, Y) で表現される層境界線の各変化点間の勾配
BASX	[1: 2]=座標 (X, Y) で表現される基盤の各変化点の X 座標
BASY	[1: 2]=座標 (X, Y) で表現される基盤の各変化点の Y 座標
BASM	[1: 2]=座標 (X, Y) で表現される基盤の各変化点間の勾配
RSX	[1:23]=半径計算のための配列における表面の各変化点の X 座標
RSY	[1:23]=半径計算のための配列における表面の各変化点の Y 座標
RSM	[1:23]=半径計算のための配列における表面の各領域を判別する勾配
RSMM	[1:23]=半径計算のための配列における表面の各変化点間の勾配
RWX	[1:18]=半径計算のための配列における水面の各変化点の X 座標
RWY	[1:18]=半径計算のための配列における水面の各変化点の Y 座標
RWM	[1:18]=半径計算のための配列における水面の各領域を判別する勾配
RWMM	[1:18]=半径計算のための配列における水面の各変化点間の勾配
RSTX	[1: 2]=半径計算のための配列における層境界線の各変化点の X 座標
RSTY	[1: 2]=半径計算のための配列における層境界線の各変化点の Y 座標
RSTM	[1: 2]=半径計算のための配列における層境界線の各領域を判別する勾配
RSTMM	[1: 2]=半径計算のための配列における層境界線の各変化点間の勾配
RBX	[1: 2]=半径計算のための配列における基盤の各変化点の X 座標
RBY	[1: 2]=半径計算のための配列における基盤の各変化点の Y 座標
RBM	[1: 2]=半径計算のための配列における基盤の各領域を判別する勾配
RBMM	[1: 2]=半径計算のための配列における基盤の各変化点間の勾配
SX	[1:16]=座標 (x, y) で表現される表面の各変化点の x 座標
SY	[1:16]=座標 (x, y) で表現される表面の各変化点の y 座標
SM	[1:16]=座標 (x, y) で表現される表面の各変化点間の勾配
WX	[1:11]=座標 (x, y) で表現される水面の各変化点の x 座標
WY	[1:11]=座標 (x, y) で表現される水面の各変化点の y 座標
WM	[1:11]=座標 (x, y) で表現される水面の各変化点間の勾配
STX	[1: 2]=座標 (x, y) で表現される層境界線の各変化点の x 座標
STY	[1: 2]=座標 (x, y) で表現される層境界線の各変化点の y 座標
STM	[1: 2]=座標 (x, y) で表現される層境界線の各変化点間の勾配
BX	[1: 2]=座標 (x, y) で表現される基盤の各変化点の x 座標
BY	[1: 2]=座標 (x, y) で表現される基盤の各変化点の y 座標
BM	[1: 2]=座標 (x, y) で表現される基盤の各変化点間の勾配
ISX	[1:16]=表面に関する積分表の各変化点の x 座標
ISY	[1:16]=表面に関する積分表の各変化点の y 座標
ISM	[1:16]=表面に関する積分表の各変化点間の勾配
IWX	[1:11]=水面に関する積分表の各変化点の x 座標
IWY	[1:11]=水面に関する積分表の各変化点の y 座標
IWM	[1:11]=水面に関する積分表の各変化点間の勾配
ISTX	[1: 2]=層境界線に関する積分表の各変化点の x 座標
ISTY	[1: 2]=層境界線に関する積分表の各変化点の y 座標
ISTM	[1: 2]=層境界線に関する積分表の各変化点間の勾配

IX	[1:16]=表面層境界線に関する積分表または水面層境界線に関する積分表の各変化点の x 座標
IY	[1:16]=表面層境界線に関する積分表または水面層境界線に関する積分表の各変化点の y 座標
IM	[1:16]=表面層境界線に関する積分表または水面層境界線に関する積分表の各変化点間の勾配
c	[0: 7]=arcsin を計算する式中の多項式の係数
DX	[1: 4]=Fig. 6 の $P_1 \sim P_4$ 点の x 座標
DY	[1: 4]=Fig. 6 の $P_1 \sim P_4$ 点の y 座標
DR	[1: 4]=Fig. 6 の $P_1 \sim P_4$ 点の最小安全率をもつ円弧の半径
DMR	[1: 4]=Fig. 6 の $P_1 \sim P_4$ 点の最小安全率をもつ円弧の抵抗モーメント
DM \bar{O}	[1: 4]=Fig. 6 の $P_1 \sim P_4$ 点の最小安全率をもつ円弧の転倒モーメント
DFS	[1: 4]=Fig. 6 の $P_1 \sim P_4$ 点の最小安全率

またこのプログラムでつくられた procedure について簡単に説明する.

READARRAY (N, A)=表面, 水面, 層境界線基盤の各変化点の数値を各 array に読み込む.

PRINTARRAY (K, N, A)=各 array の数値を 4 桁印刷する.

TRANS (S, N, XX, YY, X, Y)=(43)式によって大きい座標 (X, Y) を破壊円の中心を原点とし危険側に θ だけ傾斜した座標 (x, y) に変換する.

GRADE (N, X, Y, M)=(38)式によって各変化点間の勾配を計算する.

C \bar{O} NDITION (X, Y, M, C \bar{O} N)=(42)式を計算する.

RPREP (N, XX, YY, M, RN, RX, RY, RM, RMM)=半径計算のための配列をつくる.

RADIUS (RN, RX, RY, RM, RMM, R)=(39)または(40)式で半径を計算する.

DISCRIM (X, Y, M, D)=二次式の判別式を計算する.

INSEX 1 (X, Y, M, XX), INSEX 2 (X, Y, M, XX)=表面, 水面, 層境界線は破壊円と交わるが, その交点は二つある. そこで左側の交点の x 座標を INSEX 1 で求め, 右側の交点の x 座標を INSEX 2 で求める.

INSEY (XX, X, Y, M, YY)=それらの交点の y 座標を求める.

P \bar{O} LYN (X, P)=arcsin を計算する近似式中の多項式 $P(x)$ を計算する.

ACSIN (X, ACS)=arcsin x を計算する. その近似式は次のとおりである.

$$\arcsin x = \frac{\pi}{2} - \sqrt{1-x} P(x)$$

$$\begin{aligned} \text{ここに, } P(x) = & 1.570796305 - .214598802x \\ & + .088978987x^2 - .050174305x^3 \\ & + .030891881x^4 - .017088126x^5 \\ & + .006670090x^6 - .001262491x^7 \end{aligned}$$

LIST (N, X, Y, M, IN, IX, IY, IM)=積分表をつくる.

INLIST (ISN, ISX, ISY, ISM, ISTN, ISTX, IN, IX, IY, IM)=合成積分表をつくる.

MRS 1 (C \bar{O} HES, TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A2, A3, M, C, S)=各セクションの M_{R1} を計算する.

MRP3 (TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A4, M, C, S) = 各セクションの M_{R3} を計算する.

MRSHEAR (A, B, IN, IX, IY, IM, MR1) = 破壊円の M_{R1} を計算する.

MRCORRECT (ISTN, ISTX, ISTY, ISTM, MR2) = 破壊円の M_{R2} を計算する.

MRPÖRE (A, B, IWN, IWX, IWY, IWM, MR3) = 破壊円の M_{R3} を計算する.

MÖVER (GAMMA, IN, IX, IY, IM, MÖ) = actual parameter を区別することによって M_{01} , M_{02} , M_{03} を計算する.

Program

```

begin integer SN, WN, STN, BN, RSN, RWN, RSTN, RBN, ISN, IWN, ISTN, IN, REP,
      L, K, EQS;
real   CÖHES, TANPHI, GAMMA, CÖHES2, TANPH2, GAMMA2, GAMMAW, KH,
      KV, THETA, DELTA1, DELTA2, XÖ, YÖ, STP, CÖN, HFPI, R2, RW, RST, R,
      MR, MÖ, FS, RMIN, MRMIN, MÖMIN, FSMIN, MINXÖ, MINYÖ, MINR,
      MINMR, MINMÖ, MINFS;
array  SURX, SURY, SURM [1:16], WATX, WATY, WATM [1:11], STRX, STRY,
      STRM [1:2], BASX, BASY, BASM [1:2], RSX, RSY, RSM, RSMM [1:23],
      RWX, RWY, RWM, RWMM [1:18], RSTX, RSTY, RSTM, RSTMM [1:2],
      RBX, RBY, RBM, RBMM [1:2], SX, SY, SM [1:16], WX, WY, WM [1:11],
      STX, STY, STM [1:2], BX, BY, BM [1:2], ISX, ISY, ISM [1:16], IWX, IWY,
      IWM [1:11], ISTX, ISTY, ISTM [1:2], IX, IY, IM [1:16], C [0:7], DX, DY,
      DR, DMR, DMO, DFS [1:4];
procedure READARRAY (N, A);
      value N; integer N; array A;
      begin integer I; for I:=1 step 1 until N do READ (A[I]) end READARRAY;
procedure PRINTARRAY (K, N, A);
      value K, N; integer K, N; array A;
      begin integer I; for I:=K step 1 until N do PRINT (4, A [I]) end PRINTAR-
      RAY;
procedure TRANS (S, N, XX, YY, X, Y);
      value S, N; integer S, N; array XX, YY, X, Y;
      begin integer I; real CÖSTH, SINTH, WX, WY; for I:=1 until N do begin
      switch SWI:=LEFT, RIGHT; WX:=XX [I]-XÖ; WY:=YY [I]-YÖ;
      CÖSTH:=CÖS (THETA); SINTH:=SIN (THETA); go to SWI S; LEFT: X
      [I]:=WX*CÖSTH+WY*SINTH; Y[I]:=-WX*SINTH+WY*CÖSTH;
      go to EXIT; RIGHT: SINTH:=-SINTH; go to LEFT; EXIT: end end
      TRANS;
procedure GRADE (N, X, Y, M);
      value N; integer N; array X, Y, M;
      begin integer I; for I:=1 step 1 until N-1 do M[I]:=(Y[I+1]-Y[I])/(X
      [I+1]-X[I]) end GRADE;
procedure CÖNDITION (X, Y, M, CÖN);
      array X, Y, M; real CÖN;
      begin integer K; PREP: K:=0; REPAET: K:=K+1; if X[K]<XÖ^XÖ≤

```

```

X[K+1] then go to EXIT else go to REPEAT; EXIT: CÔN:=M[K]*(X̄O-
X[K])+Y[K]-ȲO end CÔMDITION;
procedure RPREP (N, XX, YY, M, RN, RX, RY, RM, RMM);
  value N; integer N, RN; array XX, YY, M, RX, RY, RM, RMM;
  begin integer I; real THETA, MM, WS; I:=1; L1: RX[1]:=XX[1]; RY[1]:
  =YY[1]; RM[1]:=M[1]; RMM[1]:=M[1]; RN:=1; REPEAT: I:=I+
  1; if I>N-1 then go to LEND; WS:=M[I]-M[I-1]; if WS≤0 then go to
  L2 else go to L3; L2: THETA:=(ARCTAN (M[I])+ARCTAN (M[I-1]))/
  2.0; MM:=SIN(THETA)/CÔS (THETA); RN:=RN+1; RX[RN]:=XX[I];
  RY[RN]:=YY[I]; RM[RN]:=MM; RMM[RN]:=M[I]; go to REPEAT;
  L3: RN:=RN+1; RX[RN]:=XX[I]; RY[RN]:=YY[I]; RM[RN]:=M[I-
  1]; RN:=RN+1; RX[RN]:=XX[I]; RY[RN]:=YY[I]; RM[RN]:=M
  [I]; RMM[RN]:=M[I]; go to REPEAT; LEND: RN:=RN+1; RX[RN]:
  =XX[N]; RY[RN]:=YY[N]; RM[RN]:=M[N-1]; RMM[RN]:=M[N-
  1] end RPREP;
procedure RADIUS (RN, RX, RY, RM, RMM, R);
  value RN; integer RN; array RX, RY, RM, RMM; real R;
  begin integer K; real XI, YI, WSI, WSJ, S, T; K:=0; REPEAT: K:=K+1; if
  K>RN-1 then go to EXIT; WSI:=RM[K]*(ȲO-RY[K])+(X̄O-RX[K]);
  WSJ:=RM[K+1]*(ȲO-RY[K+1])+(X̄O-RX[K+1]); if WSI≥0∧WSJ
  ≤0 then go to L1 else go to REPEAT; L1: XI:=RX[K]-X̄O; YI:=RY[K]
  -ȲO; if RX[K]=RX[K+1] then go to L2; S:=YI-RMM[K]*XI; T:=1.0
  +RMM[K]↑2; R:=S/SQRT(T); go to EXIT; L2: R:=SQRT(XI↑2+YI↑
  2); EXIT: end RADIUS;
procedure DISCRIM (X, Y, M, D);
  value X, Y, M; real X, Y, M, D;
  D:=(1.0+M↑2)*R↑2-(M*X-Y)↑2;
procedure INSEX 1 (X, Y, M, XX);
  value X, Y, M; real X, Y, M, XX;
  begin real S, T; S:=M*X-Y; T:=1.0+M↑2; XX:=(M*S-SQRT(T*R↑2
  -S↑2))/T end INSEX 1;
procedure INSEX 2 (X, Y, M, XX);
  value X, Y, M; real X, Y, M, XX;
  begin real S, T; S:=M*X-Y; T:=1.0+M↑2; XX:=(M*S+SQRT(T*R↑
  2-S↑2))/T end INSEX 2;
procedure INSEY (XX, X, Y, M, YY);
  value XX, X, Y, M; real XX, X, Y, M, YY;
  YY:=M*(XX-X)+Y;
procedure PÔLYN (X, P);
  value X; real X, P;
  begin real PP; integer I; PP:=C[7]; for I:=6 step-1 until 0 do PP:=PP*X
  +C[I]; P:=PP end POLYN;
procedure ACSIN (X, ACS);
  value X; real X, ACS;
  begin real ABSX, P; ABSX:=ABS(X); PÔLYN (ABSX, P); ACS:=HEPI-P*

```

```

    Sqrt (1.0 - ABSX); if X < 0 then ACS := -ACS end ACSIN;
  procedure LIST (N, X, Y, M, IN, IX, IY, IM);
    value N; integer N, IN; array X, Y, M, IX, IY, IM;
    begin integer K, I; real D, XX, YY; PREP: K := I := 0;
    REPEAT: K := K + 1; DISCRIM (X[K], Y[K], M[K], D); if D ≤ 0 then go to
      REPEAT; INSEX 1 (X[K], Y[K], M[K], XX); if X[K] ≤ XX ∧ XX
      ≤ X[K + 1] then go to L1 else go to REPEAT;
    L1: IX[1] := XX; IXSEY (XX, X[K], Y[K], M[K], YY); IY[1] := YY;
      IM[1] := M[K]; IN := 1;
    REP2: I := I + 1; INSEX2 (X[K + I - 1], Y[K + I - 1], M[K + I - 1], XX); if
      X[K + I - 1] ≤ XX ∧ XX ≤ X[K + I] then go to LEND;
    LN: IX[I + 1] := X[K + I]; IY[I + 1] := Y[K + 1]; IM[I + 1] := M[K + I];
      IN := IN + 1; go to REP2;
    LEND: IX[I + 1] := XX; INSEY (XX, X[K + I - 1], Y[K + I - 1], M[K + I -
      1], YY); IY[I + 1] := YY; IN := IN + 1 end LIST;
  procedure INLIST (ISN, ISX, ISY, ISM, ISTN, ISTX, IN, IX, IY, IM);
    value ISN, ISTN; integer ISN, ISTN, IN; array ISX, ISY, ISM, ISTX, IX, IY,
    IM;
    begin integer I, J; real A, B, YY; I := J := 1; IN := 0; A := ISX[I]; B := ISTX
      [J];
    CÔMPARE: if A = B then go to L1; if A < B then go to L2 else go to L3;
    L1: IN := IN + 1; IX[IN] := A; IY[IN] := ISY[I]; IM[IN] := ISM[I]; I :=
      I + 1; J := J + 1; if J > ISTN then go to L4; if I > ISN then go to EXIT;
      A := ISX[I]; B := ISTX[J]; go to CÔMPARE;
    L2: IN := IN + 1; IX[IN] := A; IY[IN] := ISY[I]; IM[IN] := ISM[I]; I :=
      I + 1; if I > ISN then go to EXIT; A := ISX[I]; go to CÔMPARE;
    L3: IN := IN + 1; IX[IN] := B; INSEY (B, ISX[I - 1], ISY[I - 1], ISM[I -
      1], YY); IY[IN] := YY; IM[IN] := ISM[I - 1]; J := J + 1; if J >
      ISTN then go to L4; B := ISTX[J]; go to CÔMPARE;
    L4: IN := IN + 1; IX[IN] := A; IY[IN] := ISY[I]; IM[IN] := ISM[I];
      I := I + 1; if I > ISN then go to EXIT; A := ISX[I]; go to L4; EXIT:
      end INLIST;
  procedure MRS1 (CÔHES, TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A2, A3, M, C, S);
    value CÔHES, TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A2, A3, M, C; real CÔHES, TANPHI,
    RR, EI, EJ, A1, A2, A3, M, C, S;
    begin real S1, S2, S21, S22, S23, S24; S1 := CÔHES * RR * A1; S21 := RR * (EJ -
      EI); S22 := (EJ ↑ 3 - EI ↑ 3) / 3.0; S23 := C * (A2 + RR * A1) / 3.0; S24 :=
      M * A3 / 3.0; S2 := GAMMA * TANPHI * (S21 - S22 + S23 + S24); S := S1
      + S2 end MRS1;
  procedure MRP3 (TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A4, M, C, S);
    value TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A4, M, C; real TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A4,
    M, C, S;
    begin real S1; S1 := EJ - EI + M * A4 + C * A1; S := TANPHI * RR * S1 *
      CÔS (THETA) end MRP3;
  procedure MRSHEAR (A, B, IN, IX, IY, IM, MR1);

```

```

value A, B, IN; real A, B, MR1; integer IN; array IX, IY, IM; begin integer I;
    real RR, EI, EJ, EI2, EJ2, DI, DJ, ACSI, ACSJ, A1, A2, A3, M, C, S;
MR1:=0; for I:=1 step 1 until IN-1 do
begin RR:=R↑2; EI:=IX[I]; EJ:=IX[I+1]; EI2:=EI↑2; EJ2:=EJ↑2;
    DI:=SQRT (RR-EI2); DJ:=SQRT (RR-EJ2); ACSIN (EI/R, ACSI);
    ACSIN (EJ/R, ACSJ); A1:=ACSJ-ACSI; A2:=EJ*DJ-EI*DI; A3:=
    =DJ↑3-DI↑3; M:=IM[I]; C:=M*EI-IY[I]; if A≤EI∧EJ≤
    B then go to L2;
L1:    MRS1 (CÔHES, TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A2, A3, M, C, S); MR1:=
    MR1+S; go to EXIT;
L2:    MRS1 (CÔHES2, TANPH2, RR, EI, EJ, A1, A2, A3, M, C, S); MR1:=
    =MR1+S;
EXIT:  end endMRSHEAR;
procedure MRCÔRRECT (ISTN, ISTX, ISTY, ISTM, MR2);
    value ISTN; integer ISTN; array ISTX, ISTY, ISTM; real MR2;
begin integer I; real RR, EI, EJ, EI2, EJ2, DI, DJ, ACSI, ACSJ, A1, A2, A3, M,
    C, S, S1, S2, S3, S4; MR2:=0; for I:=1 step 1 until ISTN-1 do begin
    RR:=R↑2; EI:=ISTX[I]; EJ:=ISTX[I+1]; EI2:=EI↑2; EJ2:=
    EJ↑2; DI:=SQRT (RR-EI2); DJ:=SQRT (RR-EJ2); ACSIN (EI/
    R, ACSI); ACSIN (EJ/R, ACSJ); A1:=ACSJ-ACSI; A2:=EJ*DJ-
    EI*DI; A3:=DJ↑3-DI↑3; M:=ISTM[I]; C:=M*EI-ISTY[I];
    S1:=RR*(EJ-EI); S2:=(EJ↑3-EI↑3)/3.0; S3:=C*(A2+RR*A1)
    /2.0; S4:=M*A3/3.0; S:=(GAMMA-GAMMA2)*TANPH2*(S1-
    S2+S3+S4); MR2:=MR2+S; end endMRCÔRRECT;
procedure MRPÔRE (A, B, IWN, IWX, IWY, IWM, MR3);
    value A, B, IWN; integer IWN; real A, B, MR3; array IWX, IWY, IWM;
begin integer I; real RR, EI, EJ, EI2, EJ2, DI, DJ, ACSI, ACSJ, A1, A4, M, C,
    S; MR3:=0; for I:=1 step 1 until IWN-1 do
begin RR:=R↑2; EI:=IWX[I]; EJ:=IWX[I+1]; EI2:=EI↑2; EJ2:=EJ↑
    2; DI:=SQRT (RR-EI2); DJ:=SQRT (RR-EJ2); ACSIN (EI/R,
    ACSI); ACSIN (EJ/R, ACSJ); A1:=ACSJ-ACSI; A4:=DJ-DI; M:=
    =IWM[I]; C:=M*EI-IWY[I]; if A≤EI∧EJ≤B then go to L2;
L1:    MRP3 (TANPHI, RR, EI, EJ, A1, A4, M, C, S); MR3:=MR3+S; go
    to EXIT;
L2:    MRP3 (TANPH2, RR, EI, EJ, A1, A4, M, C, S); MR3:=MR3+S;
EXIT:  end endMRPÔRE;
procedure MÔVER (GAMMA, IN, IX, IY, IM, MÔ);
    value GAMMA, IN; integer IN; real GAMMA, MÔ; array IX, IY, IM;
begin integer I; real RR, EI, EJ, EI2, EJ2, DI, DJ, A3, M, C, S, S1, S2, S3; MÔ:=
    =0; for I:=1 step 1 until IN-1 do begin RR:=R↑2; EI:=IX[I];
    EJ:=IX[I+1]; EI2:=EI↑2; EJ2:=EJ↑2; DI:=SQRT (RR-EI2);
    DJ:=SQRT (RR-EJ2); A3:=DJ↑3-DI↑3; M:=IM[I]; C:=M*
    EI-IY[I]; S1:=A3/3.0; S2:=M*(EJ↑3-EI↑3)/3.0; S3:=C*(EJ2
    -EI2)/2.0; S:=GAMMA*(-S1-S2+S3); MÔ:=MÔ+S end end-
    MÔVER;
    
```

```

B1 :  READ (CŌHES, TANPHI, GAMMA, CŌHES2, TANPH2, GAMMA2, KH, KV);
      READ (SN); READARRAY (SN, SURX); READARRAY (SN, SURY); READ
      (WN); READARRAY (WN, WATX); READARRAY (WN, WATY); READ
      (STN); READARRAY (STN, STRX); READARRAY (STN, STRY); READ
      (BN); READARRAY (BN, BASX); READARRAY (BN, BASY); READ (DELTA
      1, DELTA 2, STP, XŌ, YŌ, EQS); HFPI:=1.570796327; C[0]:=1.570796305;
      C[1]:=-.214598802; C[2]:=.088978987; C[3]:=-.050174305; C[4]:=
      .030891881; C[5]:=-.017088126; C[6]:=.006670090; C[7]:=-.001262491;
B2 :  CRLF (5); SPACE (30); PRINT ('SLOPEbSTABILITYbANALYSIS'); CRLF
      (3); SPACE (15); PRINT ('CŌHESIŌN'); SPACE (6); PRINT ('TANPHI');
      SPACE (8); PRINT ('GAMMA'); CRLF (1); SPACE (3); PRINT ('SŌILbI');
      SPACE (4); PRINT (5, CŌHES); PRINT (5, TANPHI); PRINT (5, GAMMA);
      CRLF (1); SPACE (3); PRINT ('SŌILbII'); SPACE (3); PRINT (5, CŌHES2);
      PRINT (5, TANPH2); PRINT (5, GAMMA2); CRLF (2); PRINT ('SURFACE');
      CRLF (1); SPACE (5); PRINT ('X'); SPACE (6); PRINTARRAY (1, 6, SURX);
      CRLF (1); SPACE (5); PRINT ('Y'); SPACE (6); PRINTARRAY (1, 6, SURY);
      CRLF (2); SPACE (5); PRINT ('X'); SPACE (6); PRINTARRAY (7, 12,
      SURX); CRLF (1); SPACE (5); PRINT ('Y'); SPACE (6); PRINTARRAY (7,
      12, SURY); CRLF (2); SPACE (5); PRINT ('X'); SPACE (6); PRINTARRAY
      (13, 16, SURX); CRLF (1); SPACE (5); PRINT ('Y'); SPACE (6); PRINT-
      ARRAY (13, 16, SURY); CRLF (2); PRINT ('WATERbTABLE'); CRLF (1);
      SPACE (5); PRINT ('X'); SPACE (6); PRINTARRAY (1, 6, WATX); CRLF
      (1); SPACE (5); PRINT ('Y') SPACE (6); PRINTARRAY (1, 6, WATY); CRLF
      (2); SPACE (5); PRINT ('X'); SPACE (6); PRINTARRAY (7, 11, WATX);
      CRLF (1); SPACE (5); PRINT ('Y'); SPACE (6); PRINTARRAY (7, 11,
      WATY); CRLF (2); PRINT ('STRATAbDIVISIŌNbLINE'); CRLF (1); SPACE
      (5); PRINT ('X'); SPACE (6); PRINTARRAY (1, 2, STRX); CRLF (1); SPACE
      (5); PRINT ('Y'); SPACE (6); PRINTARRAY (1, 2, STRY); CRLF (2); PRINT
      ('RIGIDbBASE'); CRLF (1); SPACE (5); PRINT ('X'); SPACE (6); PRINT-
      ARRAY (1, 2, BASX); CRLF (1); SPACE (5); PRINT ('Y'); SPACE (6); PRINT-
      ARRAY (1, 2, BASY); CRLF (2); PRINT ('SEISMICbCŌEFFICIENT') CRLF
      (1); SPACE (5); PRINT ('KH='); PRINT (3, KH); SPACE (5); PRINT ('KV
      ='); PRINT (3, KV);
B3 :  THETA:=ARCTAN (KH/(1.0-KV));
B4 :  GRADE (SN, SURX, SURY, SURM); GRADE (WN, WATX, WATY, WATM);
      GRADE (STN, STRX, STRY, STRM); GRADE (BN, BASX, BASY, BASM);
B5 :  RPREP (SN, SURX, SURY, SURM, RSN, RSX, RSY, RSM, RSM); RPREP
      (WN, WATX, WATY, WATM, RWN, RWX, RWY, RWM); RPREP (STN,
      STRX, STRY, STRM, RSTN, RSTX, RSTY, RESTM, RSTMM); RPREP (BN,
      BASX, BASY, BASM, RBN, RBX, RBY, RBM, RBMM);
B6 :  PREP: REP:=1; L:=0;
B7 :  LŌŌP: L=L+1;
B8 :  CŌNDITIŌN (SURX, SURY, SURM, CŌN); if CŌN≤0 then ge to PAT;
B9 :  RADIUS (RBN, RBX, RBY, RBM, RBMM, R); RADIUS (RWN, RWX, RWY,
      RWM, RWM, RW); RADIUS (RSTN, RSTX, RSTY, RSTM, RSTMM, RST);

```

```

RADIUS (RSN, RSX, RSY, RSM, RSMM, R2);
B10 : TRANS (EQS, SN, SURX, SURY, SX, SY); TRANS (EQS, WN, WATX, WATY,
      WX, WY); TRANS (EQS, STN, STRX, STRY, STX, STY); TRANS (EQS, BN,
      BASX, BASY, BX, BY);
B11 : GRADE (SN, SX, SY, SM); GRADE (WN, WX, WY, WM); GRADE (STN, STX,
      STY, STM); GRADE (BN, BX, BY, BM);
      PREP2: FSMIN:=1000.0;
B12 : LÖÖP2: if  $R \leq R2$  the go to PAT;
      CAL: begin real MR1, MR2, MR3, MÖ1, MÖ2, MÖ3, A, B;
B13 : LIST (SN, SX, SY, SM, ISN, ISX, ISY, ISM);
B14 : if  $R \leq RW$  then go to L3;
B15 : LIST (WN, WX, WY, WM, IWN, IWX, IWY, IWM);
B16 : if  $R \leq RST$  then go to L2;
B17 : L1: LIST (STN, STX, STY, STM, ISTN, ISTX, ISTY, ISTM);
B18 : INLIST (ISN, ISX, ISY, ISM, ISTN, ISTX, IN, IX, IY, IM); A:=ISTX [1]; B:
      =ISTX [ISTN]; MRSHEAR (A, B, IN, IX, IY, IM, MR1); MRCÖRRECT
      (ISTN, ISTX, ISTY, ISTM, MR2);
B19 : INLIST (IWN, IWX, IWY, IWM, ISTN, ISTX, IN, IX, IY, IM); MRPÖRE (A,
      B, IN, IX, IY, IM, MR3);
B20 : MR:=MR1-MR2-MR3;
B21 : MÖVER (GAMMA, ISN, ISX, ISY, ISM, MÖ1); MÖVER (GAMMA-GAMMA2,
      ISTN, ISTX, ISTY, ISTM, MÖ2); GAMMAW:=CÖS (THETA); MÖVER
      (GAMMAW, IWN, IWX, IWY, IWM, MÖ3); MÖ:=MÖ1-MÖ2-MÖ3; go to
      EXIT;
B22 : L2: A:=ISX [ISN]+1.0; B:=A+1.0; MRSHEAR (A, B, ISN, ISX, ISY, ISM,
      MR1); MRPÖRE (A, B, IWN, IWX, IWY, IWM, MR3); MR:=MR1-MR3;
B23 : MÖVER (GAMMA, ISN, ISX, ISY, ISM, MÖ1); GAMMAW:=CÖS (THETA);
      MÖVER (GAMMAW, IWN, IWX, IWY, IWM, MÖ3); MÖ:=MÖ1-MÖ3; go
      to EXIT;
B24 : A:=ISX [ISN]+1.0; B:=A+1.0; MRSHEAR (A, B, ISN, ISX, ISY, ISM,
      MR1); MR:=MR1;
B25 : MÖVER (GAMMA, ISN, ISX, ISY, ISM, MÖ1); MÖ:=MÖ1;
      EXIT: endCAL;
B26 : if  $MÖ=0$  then go to NEXT;
B27 : FS:=ABS (MR/MÖ);
B28 : if  $FS < FSMIN$  then begin FSMIN:=FS; RMIN:=R; MRMIN:=MP; MÖMIN:
      =MÖ end;
B29 : NEXT: R:=R-STP; go to LOOP2;
B30 : PAT: begin integer I; real MIN; switch SW:=S1, S2, S3, S4; if L=1 then
      begin MINXÖ:=XÖ; MINYÖ:=YÖ; MINR:=RMIN; MINMR:=MRMIN;
      MINMÖ:=MÖMIN; MINFS:=FSMIN; K:=0; YÖ:=YÖ-DELTA1; go to
      LÖÖP end;
      L1: K:=K+1; DX [K]:=XÖ; DY [K]:=YÖ; DR [K]:=RMIN; DMR [K]:
      =MRMIN; DMÖ [K]:=MÖMIN; DFS [K]:=FSMIN; go to SW [K];
B31 : S1: XÖ:=XÖ+DELTA1; YÖ:=YÖ+DELTA1; go to LÖÖP;

```

```

S2:  $X\bar{O} := X\bar{O} - \Delta 1$ ;  $Y\bar{O} := Y\bar{O} + \Delta 1$ ; go to L $\bar{O}\bar{O}P$ ;
S3:  $X\bar{O} := X\bar{O} - \Delta 1$ ;  $Y\bar{O} := Y\bar{O} - \Delta 1$ ; go to L $\bar{O}\bar{O}P$ ;
B32: S4: for I:=1 step 1 until 4 do if MINFS > DFS [I] then begin MIN:=1000.0;
go to L2 end; go to EXIT;
B33: L2: for I:=1 step 1 until 4 do if MIN > DFS [I] then begin MIN:=DFS [I];
K:=I end; MINX $\bar{O}$ :=DX [K]; MINY $\bar{O}$ :=DY [K]; MINR:=DR [K]; MINMR:=
DMR [K]; MINM $\bar{O}$ :=DM $\bar{O}$  [K]; MINFS:=DFS [K]; K:=0; X $\bar{O}$ :=MINX $\bar{O}$ ;
Y $\bar{O}$ :=MINY $\bar{O}$  -  $\Delta 1$ ; go to L $\bar{O}\bar{O}P$ ;
B34: B35: EXIT: if REP=1 then begin  $\Delta 1 := \Delta 2$ ; REP:=REP+1; K:=
0; X $\bar{O}$ :=MINX $\bar{O}$ ; Y $\bar{O}$ :=MINY $\bar{O}$  -  $\Delta 1$ ; go to L $\bar{O}\bar{O}P$  end end;
B36: CRLF (3); PRINT ('CRITICALbCIRCLE'); CRLF (2); SPACE (6); PRINT ('X');
SPACE (12); PRINT ('Y'); SPACE (12); PRINT ('R'); SPACE (13); PRINT
('MR'); SPACE (14); PRINT ('MO'); SPACE (11); PRINT ('MINFS'); CRLF
(1); PRINT (5, MINX $\bar{O}$ ); PRINT (5, MINY $\bar{O}$ ); PRINT (5, MINR); PRINT (8,
MINMR); PRINT (8, MINM $\bar{O}$ ); PRINT (5, MINFS)

```

VI. 計 算 例

Fig. 9 の例題について行なってみた。この例題では基盤の上に 14.8^m の厚さの軟弱粘土の層があって、その上に砂で築堤すると仮定してみた。そして一般には軟弱粘土の内部摩擦角は 0 とするが、ここでは土質試験の値をそのまま採用し $\tan\phi_2 = 0.02589$ とし、粘着力は層の深さに比例して変化しないものとした。

なお、比較の意味で常時の臨界円を求めてみたが、 $FS = 0.82$ であった。その位置は Fig. 9 に点線で表示されている。

地震時の安定解析は Fig. 10 のようになった。これは、干潮時に地震力が堤外地の方向に働いた場合の安定解析で代表せしめた。この結果 $FS = 0.56$ となった。

故に堤防の断面形を変え、粘着力の層の深さに比例する増加を考慮して再度解析を行なう必要がある。

VII. あ と が き

地震時の斜面の安定解析についても、電子計算機を使うことによって簡単に解析することができることがわかった。しかも、ここで開発された方法は類似の問題にそのままあるいは少しの修正で適用できる。

ただこのプログラムは少なくとも内部記憶装置 8000 word 位の computer でないと計算できないので、4000 word 程度の computer でも計算できるような方法を考えてみたい。

ここで述べたことは、電子計算機によって斜面の安定解析をする場合の一試案に過ぎない。多くの方々の御批判と御意見をいただきたいと思う。

文

献

- 1) 防災ハンドブック編集委員会：防災ハンドブック，93～204，技報堂，1964
- 2) 村山朔郎・大崎順彦：基礎工学ハンドブック，199～234，朝倉書店，1964
- 3) 大築志夫・金井 清：耐震設計，1～64，コロナ社，1961

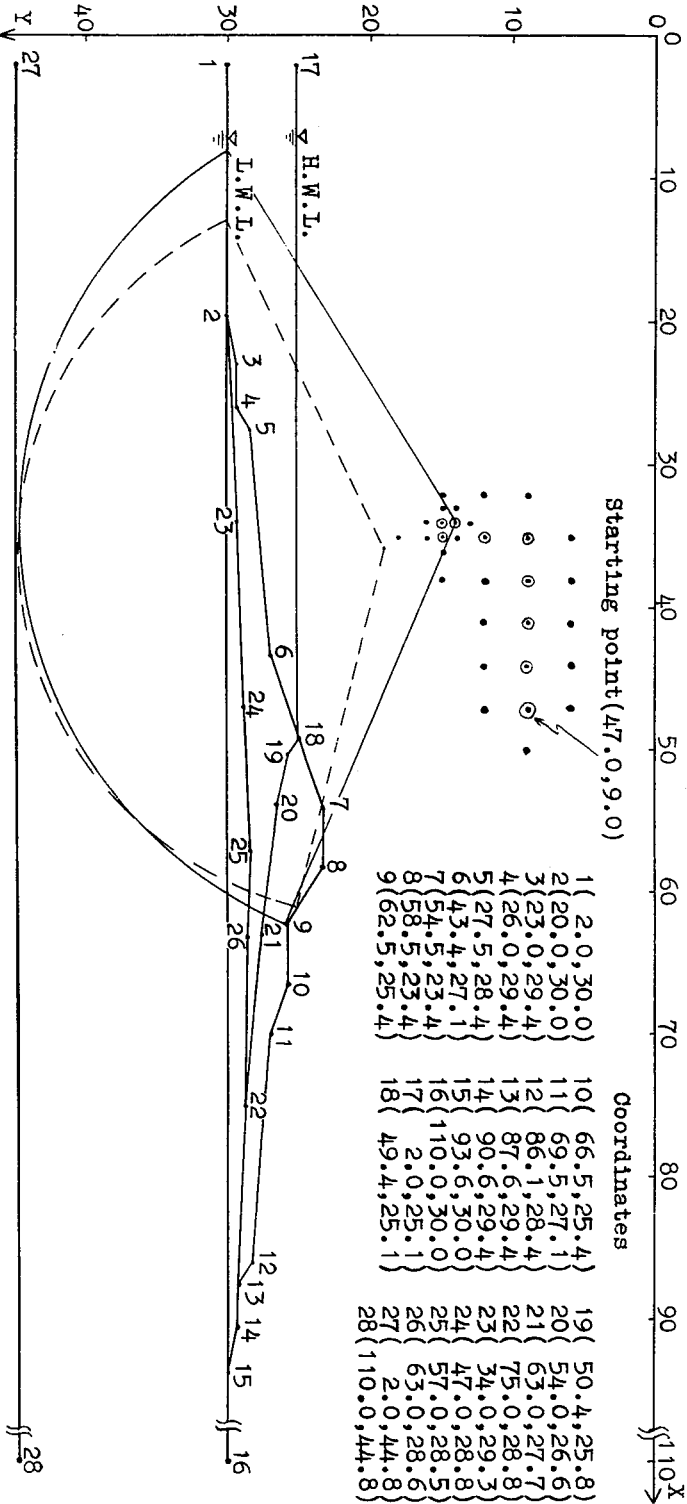


Fig. 9 緩傾斜干拓堤防

SLOPE STABILITY ANALYSIS

	COHESION	TANPHI	GAMMA					
SOIL I	.00000 ₁₀ 0	.72654 ₁₀ 0	.18000 ₁₀ 1					
SOIL II	.11300 ₁₀ 1	.25890 ₁₀ 1	.15100 ₁₀ 1					
SURFACE								
X	.2000 ₁₀ 1	.2000 ₁₀ 2	.2300 ₁₀ 2	.2600 ₁₀ 2	.2750 ₁₀ 2	.4340 ₁₀ 2		
Y	.3000 ₁₀ 2	.3000 ₁₀ 2	.2940 ₁₀ 2	.2940 ₁₀ 2	.2840 ₁₀ 2	.2710 ₁₀ 2		
X	.5450 ₁₀ 2	.5850 ₁₀ 2	.6250 ₁₀ 2	.6650 ₁₀ 2	.6990 ₁₀ 2	.8610 ₁₀ 2		
Y	.2340 ₁₀ 2	.2340 ₁₀ 2	.2540 ₁₀ 2	.2540 ₁₀ 2	.2710 ₁₀ 2	.2840 ₁₀ 2		
X	.8760 ₁₀ 2	.9000 ₁₀ 2	.9360 ₁₀ 2	.1100 ₁₀ 3				
Y	.2940 ₁₀ 2	.2940 ₁₀ 2	.3000 2	.3000 ₁₀ 2				
WATER TABLE								
X	.2000 ₁₀ 1	.2000 2	.3400 ₁₀ 2	.4700 ₁₀ 2	.5700 ₁₀ 2	.6300 ₁₀ 2		
Y	.3000 ₁₀ 2	.3000 ₁₀ 2	.2930 ₁₀ 2	.2880 ₁₀ 2	.2850 ₁₀ 2	.2860 ₁₀ 2		
X	.7500 ₁₀ 2	.8760 ₁₀ 2	.9060 ₁₀ 2	.9360 ₁₀ 2	.1100 ₁₀ 3			
Y	.2880 ₁₀ 2	.2940 ₁₀ 2	.2940 ₁₀ 2	.3000 ₁₀ 2	.3000 ₁₀ 2			
STRATA DIVISION LINE								
X	.2000 ₁₀ 1	.1100 ₁₀ 3						
Y	.3000 ₁₀ 2	.3000 ₁₀ 2						
RIGID BASE								
X	.2000 ₁₀ 1	.1100 ₁₀ 3						
Y	.4480 ₁₀ 2	.4480 ₁₀ 2						
SEISMIC COEFFICIENT								
KH = .150 ₁₀ 0			KV = .000 ₁₀ 0					
CRITICAL CIRCLE								
X	.34000 ₁₀ 2	.14000 ₁₀ 2	.30800 ₁₀ 2	.24602155 ₁₀ 4	.43551526 ₁₀ 4	.56490 ₁₀ 0		

Fig. 10 解析結果

- LITTLE A. L. & PRICE V. E.: The Use of an Electronic Computer for Slope Stability Analysis, Géotechnique, Vol. 8, No. 3, 113~120, 1958
- HORN J. A.: Computer Analysis of Slope Stability, Journal of Soil Mechanics and Foundation, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 86, No. SM3, 1~17, 1960
- 長尾義三: Box-Wilson 法による円弧すべりの計算法——デジタル・コンピュータによる計算——, 土木学会誌, 第45巻, 第7号, 69~77, 1960
- 藤川武信・田中宏平・加来 研・国武昌人・藤本昌宣: 電子計算機による斜面の安定解析 I. 均一型アースダムの完成直後, 土質理工学研究報告, No.3, 1~15, 九州大学農学部, 1964
- 国武昌人: 電子計算機による斜面の安定解析 (均一型アースダムの完成直後・二重格子の場合), 佐賀大学農学彙報, No. 26, 123~136, 1964
- FUJIKAWA T., TANAKA K., KAKU K., KUNITAKE M. & FUJIMOTO M.: Stability Analysis of Revetment by Electronic Computer II. The Kawachi Reclamation Project in the Ariake Tidal Land, Research Report of Agricultural Soil Engineering, No. 4, 1~37, Faculty of Agriculture, Kyushu University, 1965
- 森口繁一: ALGÖL 入門, 2~121, JUSE 出版社, 1964
- ALGÖLIP 入門, 1~34, 九州大学中央計数施設, 1964
- ALGÖL 入門, 1~28, 九州大学中央計数施設, 1964